

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum spanabhebenden Bearbeiten von Werkstücken, bei dem Spanwerkzeug und Werkstück relativ zueinander bewegt werden. Derartige Vorrichtungen und Verfahren werden im Zuge der Endbearbeitung von Werkstücken eingesetzt, um beispielsweise ein in einem vorangehenden Arbeitsgang erzeugtes Formelement des Werkstücks auf ein exaktes Sollmaß zu bringen. Bei einem solchen Formelement handelt es sich typischerweise um eine Innenbohrung. Ebenso werden derartige Vorrichtungen jedoch auch eingesetzt, um den Außendurchmesser von Werkstücken auf ein Sollmaß zu bringen.

[0002] Um die immer strenger werdenden Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit insbesondere bei der Fertigung von Zahnrädern zu erfüllen, erfolgt die spanabhebende Endbearbeitung der Werkstücke in der Regel in zwei Schritten. Im ersten Arbeitsschritt wird das jeweils überschüssige Material bis auf ein Restaufmaß mit einem Drehmeißel oder Fräser bearbeitet. Nach dieser Bearbeitung mit einem Spanwerkzeug, das eine definierte Klinge besitzt, wird im zweiten Schritt das verbliebene Restübermaß mit einem Schleifwerkzeug abgetragen. Durch diese zweistufige Arbeitsweise kann die Bearbeitung besonders zeitsparend durchgeführt werden. Im Hinblick auf die Präzision des Bearbeitungsergebnisses als besonders vorteilhaft hat es sich dabei erwiesen, wenn das Werkstück während der Bearbeitung in derselben Aufspannung verbleibt.

[0003] In der Praxis ergibt sich dennoch das Problem, daß es infolge des Verschleißes des Spanwerkzeuges zu unzulässigen Maßabweichungen kommen kann. Besonders kritisch sind diese Abweichungen bei der Großserienverarbeitung von Werkstücken. So kann es bei der Bearbeitung einer großen Stückzahl von Werkstücken mit zunehmender Einsatzdauer des Spanwerkzeugs dazu kommen, daß die Werkstücke trotz einer ordnungsgemäßen Zustellung des Werkzeugs am Anfang der Einsatzdauer durch den unvermeidbar voranschreitenden Werkzeugverschleiß immer größeren Abweichungen ihrer Abmessungen von der optimalen Sollvorgabe aufweisen.

[0004] Es ist versucht worden, den sich während der Bearbeitung des Werkstücks einstellenden Verschleiß des Werkzeugs zu erfassen, um abhängig von dem festgestellten Verschleiß die Zustellung des Werkzeugs im Betrieb anzupassen oder um daß sich infolge des Verschleißes verbleibende Restaufmaß bei den nachfolgenden Bearbeitungsschritten berücksichtigen zu können. Zu diesem Zweck werden beispielsweise Meßeinrichtungen eingesetzt, bei denen Werkstück und Werkzeug einen Schwingkreis bilden, dessen Frequenz sich infolge der mit zunehmendem Verschleiß des Werkzeugs eintretenden Annäherung von Werkstück und Werkzeug ändert. Derartige Meßeinrichtungen sind jedoch nicht für eine hochpräzise und schnell reagierende Steuerung der spanabhebenden Bearbeitung in den insbesondere im Bereich der Fertigung von Automobilgetrieben immer enger werdenden Toleranzbereichen geeignet.

[0005] Eine andere Möglichkeit der Überwachung des Zustands eines Schneidwerkzeugs ist aus der DE 37 24 383 A1 bekannt. Bei dieser bekannten Vorrichtung wird der Verschleiß des Werkzeugs dadurch erfaßt, daß die Geschwindigkeit, mit der das Werkzeug im Betrieb Wärme erzeugt, an der Schneidkante gemessen und die gemessene Wärmezeugungsgeschwindigkeit mit dem Zustand der Schneide in Beziehung gesetzt wird. Zu diesem Zweck wird eine Strömung eines Kühlmittels auf die Rückseite des Schneidwerkzeugs geleitet und der Anstieg der Temperatur dieses Kühlmittels gemessen. Durch die Auswertung der Temperatur-

entwicklung des Kühlmittels können so Schlüsse auf die mit dem Verschleiß des Werkzeugs ansteigende, sich in einer zunehmenden Temperatur der Werkzeugschneide niederschlagenden Schneidarbeit gezogen werden. Allerdings erlaubt es diese indirekte Erfassung des Verschleißzustandes der Schneide keine schnelle Reaktion auf den fortschreitenden Verschleiß der Schneide. Vielmehr bildet die zur Erfassung der Temperaturänderung benutzte Kühlflüssigkeit einen Puffer, dessen eigenes Temperaturverhalten zu einer erheblichen Ungenauigkeit bei der Feststellung der tatsächlichen Temperatur im Bereich der Schneide des Werkzeugs führt.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ausgehend von dem voranstehend erläuterten Stand der Technik eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, mit dem eine auch strengsten Toleranzanforderungen gerechtwerdende Berücksichtigung des Werkzeugverschleißes während der spanabhebenden Bearbeitung von Werkstücken möglich ist.

[0007] Diese Aufgabe wird einerseits durch eine Vorrichtung zum spanabhebenden Bearbeiten von Werkstücken gelöst, die mit einem Spanwerkzeug, mit einem Werkstückhalter, der das Werkstück während der Bearbeitung hält, wobei sich Spanwerkzeug und Werkstück während der Bearbeitung relativ zueinander bewegen, mit einer an dem Spanwerkzeug ausgebildeten Düse, die bei Beaufschlagung mit unter Druck stehendem Fluid einen Fluidstrahl gegen die vom Spanwerkzeug bearbeitete Wand des Werkstücks richtet, mit einer Fluidversorgung, an welche die Düse über eine Fluidversorgungsleitung angeschlossen ist und welche die Düse in Abhängigkeit von einem Steuersignal mit dem druckbeaufschlagten Fluid versorgt, mit einer Steuereinrichtung, welche die Relativbewegung von Werkstück und Spanwerkzeug steuert, und mit einer Überwachungs- und Auswerteinrichtung ausgestattet ist, welche bei Beaufschlagung der Düse mit Fluid den Druck in der Fluidversorgungsleitung erfaßt und Abweichungen des erfaßten Drucks von einem Solldruck an die Steuereinrichtung meldet.

[0008] Zum anderen wird die voranstehend angegebene Aufgabe durch ein Verfahren zum spanabhebenden Bearbeiten von Werkstücken gelöst, bei dem ein Werkstück und ein Spanwerkzeug relativ zueinander bewegt werden, bei aus einer an dem Spanwerkzeug ausgebildeten Düse ein Fluidstrahl auf die von dem Spanwerkzeug bearbeitete Wand gerichtet wird, bei dem der sich zwischen der Düse und der bearbeiteten Wand bildende Staudruck erfaßt wird, bei dem der erfaßte Staudruck mit einem Sollwert verglichen wird und bei dem Steuersignale unter Berücksichtigung des Ergebnisses des Vergleichs erzeugt werden.

[0009] Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, aus einer Düse einen Fluidstrahl, vorzugsweise einen Luftstrahl, gegen die vom Spanwerkzeug bearbeitete Wand zu richten, so daß sich zwischen Düse und Wand ein Staudruck bildet. Dieser Staudruck ist in der Fluidversorgungseinrichtung meßbar, welche die Düse mit dem ausgebrachten Fluid versorgt. Die Erfassung des Staudrucks erfolgt dabei durch eine Überwachungs- und Auswerteinrichtung, die die Entwicklung des Staudrucks beispielsweise in der Verbindungsleitung zwischen Druckerzeuger und Düse erfaßt und mit einem den unverschlissenen Zustand kennzeichnenden Soll-druck vergleicht. Die sich bei Verschleiß des Werkzeugs einstellende Annäherung von Düse und bearbeiteter Wand führt unmittelbar zu einer Veränderung des Staudrucks, die sich wiederum unmittelbar in einer Änderung des Drucks in der Versorgungseinrichtung niederschlägt. Mit heute zur Verfügung stehenden Drucksensoren kann diese Druckänderung verzögerungsfrei festgestellt werden, so daß bei erfindungsgemäßer Vorgehensweise stets eine aktuelle Infor-

mation über den Verschleißzustand des Werkzeugs vorliegt. In gleicher Weise wird ein Bruch des Werkzeugs bzw. seiner Klinge sofort bemerkt, so daß größere Schäden an dem Werkstück und der Vorrichtung sicher vermieden werden. [0010] Dabei läßt sich die Erfindung kostengünstig verwirklichen. So kann das für das Ausbringen des Fluidstrahles erforderliche Fluid in Form von Druckluft von der in Vorrichtungen der in Rede stehenden Art ohnehin in der Regel zur Verfügung stehenden Druckluftversorgung bereitgestellt werden. Bei den für die Erfassung des Druckverlaufs in der zur Versorgung der Düse eingesetzten Einrichtung erforderlichen Meßwertaufnehmer kann es sich um ebenso kostengünstig erhältliche Standardbauteile handeln.

[0011] Die Ergebnisse des Vergleichs des erfaßten jeweils aktuellen Drucks mit dem Solldruck können bei laufendem Betrieb unmittelbar in Steuersignale umgesetzt werden, anhand derer die Zustellung des Werkzeugs bzw. des Werkstücks korrigiert wird. Genauso kann dieses Ergebnis zur exakten Bestimmung des nach der jeweiligen Bearbeitung verbleibenden Restübermaßes genutzt werden. Letztere Möglichkeit erweist sich insbesondere dann als vorteilhaft, wenn das überschüssige Material des Werkstücks in einem ersten größeren Bearbeitungsschritt zunächst nur bis auf ein Restübermaß abgetragen wird und anschließend dieses verbliebene Übermaß in einem hochpräzise durchgeführten zweiten Arbeitsschritt bis auf das Sollmaß abgetragen wird. [0012] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden nachfolgend anhand einer Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen schematisch:

[0013] Fig. 1 eine Vorrichtung zum Endbearbeiten der Innenbohrung eines Werkstücks in einer ersten Betriebsstellung in seitlicher, teilweise aufgebrochener Ansicht,

[0014] Fig. 2 die Vorrichtung in einer zweiten Betriebsstellung in seitlicher Ansicht.

[0015] Die Vorrichtung 1 dient zum Endbearbeiten der Innenbohrung 2 eines Werkstücks 3, bei dem es sich im vorliegenden Fall um ein für ein PKW-Getriebe bestimmtes Zahnrad handelt. Das Werkstück 3 ist in einem Werkstückhalter 4 gehalten, der an einen nicht dargestellten Drehantrieb angeschlossen ist. Mittels des Drehantriebs kann der Werkstückhalter 4 mit dem von ihm gehaltenen Werkstück 3 um eine mit der Längsachse des Werkstücks 3 zusammenfallende Drehachse 5 gedreht werden.

[0016] In der Vorrichtung 1 erfolgt die Bearbeitung des Werkstücks 3 in zwei Stufen. Zu diesem Zweck weist die Vorrichtung 1 eine Werkzeugwechseleinrichtung 6 auf, die in der ersten, in Fig. 1 dargestellten Betriebsstellung mit einem Drehmeißel 7 und in der zweiten Betriebsstellung mit einem Schleifwerkzeug 8 bestückt ist.

[0017] Der Drehmeißel 7 umfaßt dabei einen mit seinem einen Ende mit der Werkzeugwechseleinrichtung 6 verkoppelten Halterschaft 9, an dessen freiem Ende eine Hartmetallplatte 10 befestigt ist. An der Hartmetallplatte 10 ist mindestens eine definierte Schneide 12 ausgebildet, über die der Materialabtrag an der zu bearbeitenden Wand 13 der Innenbohrung 2 erfolgt.

[0018] In geringem Abstand A in Richtung der Werkzeugwechseleinrichtung 6 versetzt ist in die Umfangsfläche des Halterschafts 9 in enger Nachbarschaft zur Hartmetallplatte 10 eine Düse 14 eingeformt. Die Düse 14 ist über einen im Halterschaft 9 ausgebildeten, auf der Werkzeugwechseleinrichtung 6 zugeordneten Stirnseite des Drehmeißels 7 mündenden Versorgungskanal 15 mit einer Versorgungsleitung 16 verbunden, die in der den Halterschaft 9 haltenden Aufnahme 17 der Werkzeugwechseleinrichtung 6 endet und an die allgemeine Fluidversorgungseinrichtung 18 der Vor-

richtung 1 angeschlossen ist. Neben der Düse 14 versorgt die Fluidversorgungseinrichtung 18 die pneumatisch betätigten, hier weiter nicht dargestellten Aggregate der Vorrichtung 1 mit Druckluft.

[0019] Die Positionierung der Düse 14 in unmittelbarer Nähe der Hartmetallplatte 10 hat den Vorteil, daß eine besonders präzise Erfassung des Verschleißes der Schneide 12 der Hartmetallplatte 10 sichergestellt ist. Abhängig von der Gestaltung des Drehmeißels 7 kann es ebenso günstig sein, eine Düse benachbart zur freien Stirnseite des Drehmeißels 7 anzuordnen. Wesentlich ist dabei jedoch, daß der aus der Düse ausgebrachte Fluidstrahl so ausgerichtet ist, daß sich zwischen der jeweils bearbeiteten Wand 13 der Innenbohrung 2 und dem jeweiligen Spanwerkzeug (hier Drehmeißel 7) ein Staudruck SP ausbildet, der in der Versorgungsleitung 17 der Fluidversorgungseinrichtung 18 festgestellt werden kann.

[0020] Bei der Vorrichtung 1 wird der Druck in Versorgungsleitung 17 durch eine Überwachungs- und Auswerteinrichtung 20 erfaßt und mit einem in der Überwachungs- und Auswerteinrichtung 20 gespeicherten Sollwert verglichen. Dieser Sollwert entspricht dem Staudruck SP, der sich bei unverschlossener Hartmetallplatte 10 zwischen dem Drehmeißel 7 und der Wand 13 einstellt.

[0021] Nachdem das mit der grob vorgefertigten Innenbohrung 2 angelieferte Werkstück 3 in den Werkstückhalter 4 gespannt ist, wird das gegenüber dem Solldurchmesser Dsoll der Innenbohrung 2 überschüssige Material der Wand 13 bei rotierendem Werkstück 2 mit dem Drehmeißel 7 bis auf ein nach diesem ersten Bearbeitungsschritt verbleibendes Sollübermaß Usoll abgetragen. Der Vorschub des nicht rotierenden Drehmeißels 7 in axialer Richtung X wird dabei von der Werkzeugwechselvorrichtung 6 ausgeführt.

[0022] Während der Bearbeitung des Werkstücks mit dem Drehmeißel 7 wird von der Überwachungs- und Auswerteinrichtung 20 laufend der Staudruck SP erfaßt und mit dem Sollwert verglichen. Die sich dabei ergebenden Abweichungen von dem Sollwert werden in einem Speicher einer Steuerungseinrichtung 21 abgelegt, die zentral die Bewegungen der Werkzeugwechseleinrichtung 6 und des Werkstücks 2 steuert. Bei einer plötzlichen, einen Bruch der Hartmetallplatte 10 kennzeichnenden Veränderung des Staudrucks SP bricht die Steuerung 21 die Bearbeitung ab und gibt ein Warnsignal aus.

[0023] Die im Speicher der Steuerungseinrichtung 21 abgelegten Daten kennzeichnen die sich infolge des Verschleißes der Hartmetallplatte 10 einstellenden Abweichungen des auf der Wand 13 nach der Bearbeitung durch den Drehmeißel 7 verbleibenden Ist-Übermaßes Uist von dem Sollübermaß Usoll. Alternativ zu einer laufenden Überwachung und Erfassung dieser Abweichungen während des Betriebes kann das nach dem ersten Bearbeitungsschritt auf der Wand 13 vorhandene tatsächliche Übermaß auch durch eine nach dem ersten Bearbeitungsschritt erfolgenden einmaligen Messung festgestellt werden.

[0024] Im zweiten Bearbeitungsschritt wird das nach der ersten Bearbeitung auf der Wand 13 verbleibende tatsächliche Übermaß Uist von dem Schleifwerkzeug 8 abgetragen, welches dazu von der Werkzeugwechseleinrichtung 6 aufgenommen wird. Das nach wie vor rotierende Werkstück 3 verbleibt dabei in derselben Aufspannung wie im ersten Bearbeitungsschritt.

[0025] Die Zustellung von Schleifwerkzeug 8 und Werkstück 3 erfolgt dabei unter Berücksichtigung des im ersten Arbeitsschritt festgestellten Ist-Übermaßes Uist, so daß im Ergebnis nach der im zweiten Bearbeitungsschritt mit Hilfe des Schleifwerkzeugs 8 durchgeführten Schleifbearbeitung der Solldurchmesser Dsoll der Innenbohrung 2 sicher er-

reicht wird.

[0026] Es ist festgestellt worden, daß sich mit einer solchen erfindungsgemäßen Vorgehensweise nach Fertigstellung der Endbearbeitung Abweichungen von maximal 3 bis 5 µm von dem Soll Durchmesser D_{soll} gewährleisten lassen. 5

BEZUGSZEICHEN

A Abstand	
D _{soll} Solldurchmesser der Innenbohrung 2	10
SP Staudruck	
U _{soll} Sollübermaß	
U _{ist} nach der Bearbeitung durch den Drehmeißel 7 verbleibendes Ist-Übermaß	
X axiale Vorschubrichtung des Drehmeißels 7 und des Schleifwerkzeugs 8	15
1 Vorrichtung	
2 Innenbohrung	
3 Werkstück	
4 Werkstückhalter	20
5 Drehachse	
6 Werkzeugwechseleinrichtung	
7 Drehmeißel	
8 Schleifwerkzeug	
9 Halterschaft	25
10 Hartmetallplatte	
12 Schneide	
13 bearbeitete Wand der Innenbohrung	
14 Düse	
15 Versorgungskanal	30
16 Versorgungsleitung	
17 Aufnahme	
18 Fluidversorgungseinrichtung	
20 Überwachungs- und Auswerteinrichtung	35
21 Steuerungseinrichtung	

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum spanabhebenden Bearbeiten von Werkstücken (3), 40
mit einem Spanwerkzeug (7, 8),
mit einem Werkstückhalter (4), der das Werkstück (3) während der Bearbeitung hält, wobei sich Spanwerkzeug (7, 8) und Werkstück (3) während der Bearbeitung relativ zueinander bewegen, 45
mit einer an dem Spanwerkzeug (7) ausgebildeten Düse (14), die bei Beaufschlagung mit unter Druck stehendem Fluid einen Fluidstrahl gegen die vom Spanwerkzeug (7, 8) bearbeitete Wand (13) des Werkstücks (3) richtet, 50
mit einer Fluidversorgung (18), an welche die Düse über eine Fluidversorgungsleitung (16) angeschlossen ist und welche die Düse (14) in Abhängigkeit von einem Steuersignal mit dem druckbeaufschlagten Fluid versorgt, 55
mit einer Steuereinrichtung (21), welche die Relativbewegung von Werkstück (3) und Spanwerkzeug (7) steuert, und
mit einer Überwachungs- und Auswerteinrichtung (20), welche bei Beaufschlagung der Düse (14) mit Fluid den Druck in der Fluidversorgungsleitung (18) erfaßt und Abweichungen des erfaßten Drucks (SP) von einem Sollwert an die Steuereinrichtung (21) meldet, 60
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Spanwerkzeug (7) eine definierte Schneide (12) besitzt. 65
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

daß das Spanwerkzeug (7) ein Drehmeißel ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (14) in unmittelbarer Nähe der Schneide (12) angeordnet ist.

5. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schneide (12) an einem Hartmetalleinsatz (10) ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Spanwerkzeug (7) einen Halterschaft (9) aufweist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (14) an dem Halterschaft (9) ausgebildet ist.

8. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Spanwerkzeug (7) für das Bearbeiten einer Innenbohrung (2) des Werkstücks (3) bestimmt ist.

9. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Drehantrieb vorhanden ist, welcher Werkstück (3) und Spanwerkzeug (7) während der Bearbeitung relativ zueinander rotierend bewegt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehantrieb dem Werkstück (3) zugeordnet ist.

11. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie zwei spanabhebende Werkzeuge (7, 8) für zwei unterschiedliche, zeitlich aufeinanderfolgend durchgeführte Bearbeitungen des Werkstücks (3) aufweist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (3) zuerst bearbeitende Werkzeug (7) eine definierte Schneide (12) aufweist und daß das Werkstück (3) anschließend bearbeitende Werkzeug (8) eine undefinierte Schneide besitzt.

13. Verfahren zum spanabhebenden Bearbeiten von Werkstücken (3), bei dem das Werkstück (3) und ein Spanwerkzeug (7) relativ zueinander bewegt werden, bei aus einer an dem Spanwerkzeug (7) ausgebildeten Düse (14) ein Fluidstrahl auf die von dem Spanwerkzeug (7) bearbeitete Wand (13) gerichtet wird, bei dem der sich zwischen der Düse (14) und der bearbeiteten Wand (13) bildende Staudruck (SP) erfaßt wird, bei dem der erfaßte Staudruck (SP) mit einem Sollwert verglichen wird und bei dem Steuersignale unter Berücksichtigung des Ergebnisses des Vergleichs erzeugt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung in einem ersten Schritt mit einem Spanwerkzeug (7) mit definierter Klinge (12) und in einem zweiten Schritt mit einem Spanwerkzeug (8) mit einer undefinierten Klinge durchgeführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die während des ersten Schritts der Bearbeitung festgestellten Abweichungen des Staudrucks (SP) von dem Sollwert bei der Zustellung des im zweiten Schritt eingesetzten Spanwerkzeugs (8) berücksichtigt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß im ersten Schritt der Bearbeitung ein Drehmeißel (7) und im zweiten Schritt ein Schleifwerkzeug (8) eingesetzt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

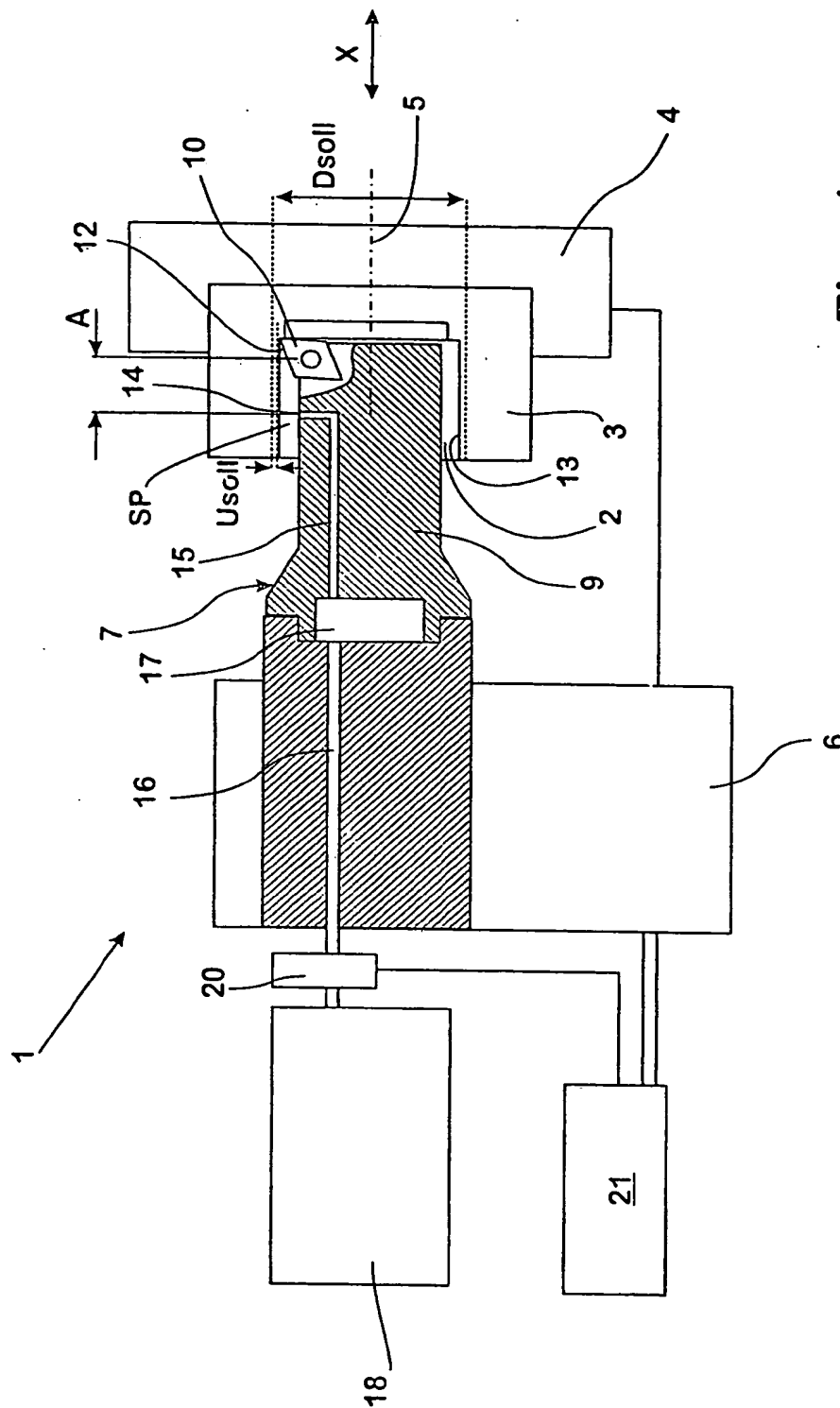


Fig. 1

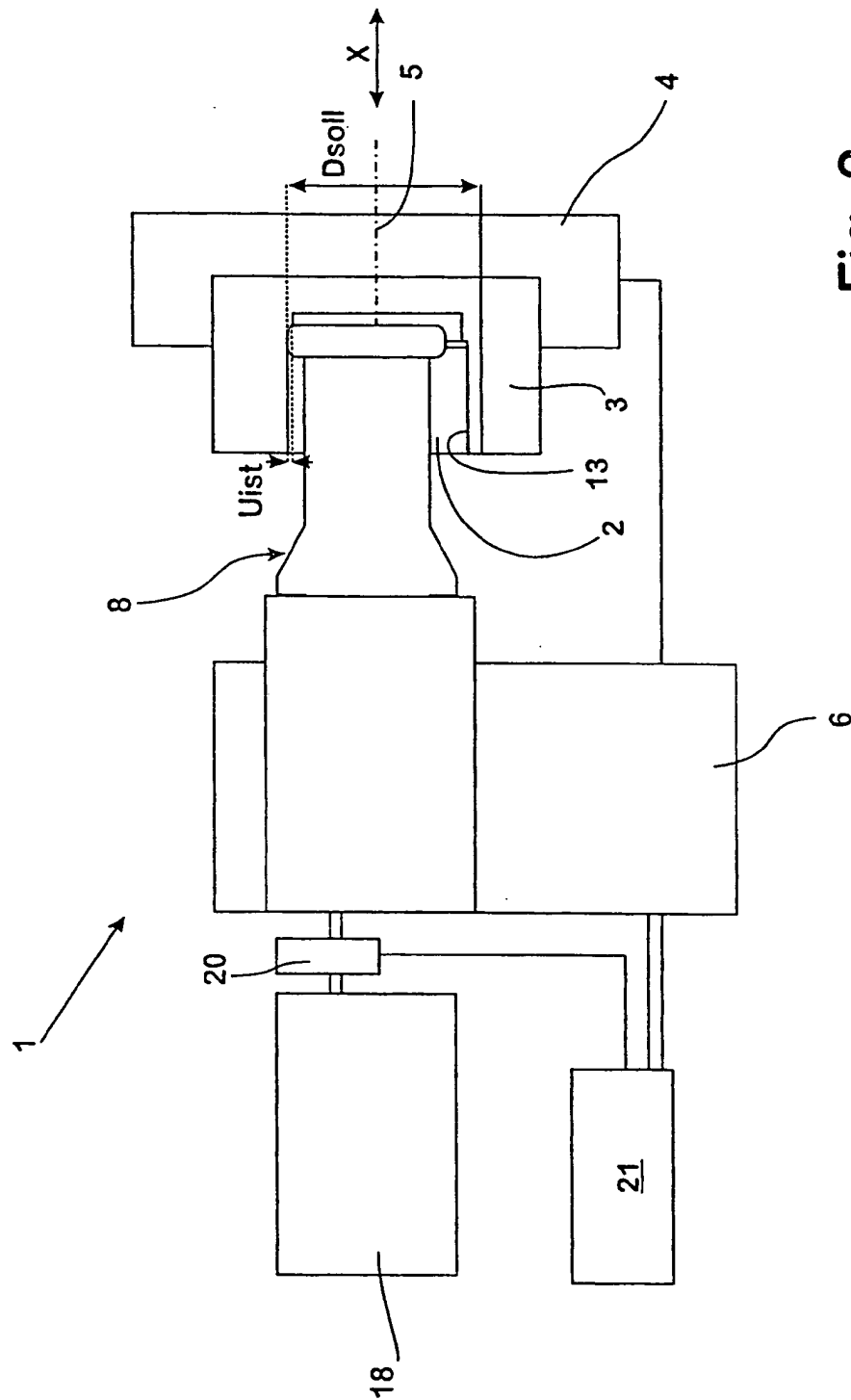


Fig. 2